

レンコン田土壌のアンモニア態窒素の簡易評価法

鹿島啓司・假屋哲朗¹⁾・寺門 巖・郷内 武²⁾・藤田 裕

(茨城県農業総合センター園芸研究所)

要約

茨城県のレンコン田は、多くが通年で湛水状態に保たれており、土壌中の無機態窒素の多くはアンモニア態で存在している。

このアンモニア態窒素は、レンコン田の無機態窒素量を示す指標として適正施肥量の算出への活用が期待されるが、測定には高価な機器による蒸留法やインドフェノール法が用いられている。そこで、普及現場でも対応可能な、より簡易な評価法を検討した。

その結果、アンモニア態窒素の測定はパックテストを用いることで、インドフェノールブルー法による分析値と高い相関があった。また、パックテストアンモニウム（アンモニウム態窒素）の反応時間は、1時間が適切と考えられた。レンコン田土壌の仮比重は、風乾土 10g に 10%塩化カリウムを 40mL 入れて振とうし、1時間静置した土壌の容積を測定し、土壌の容積に-0.0639 を乗じてその値に 1.3823 を加算することで推定できた。面積あたりのアンモニア態窒素量は、本簡易法によるアンモニア態窒素および仮比重から算出することで、インドフェノールブルー法によるアンモニア態窒素およびコアサンプル法による仮比重から算出した分析値と高い相関を得られた。

キーワード：レンコン、土壌分析、アンモニア態窒素、仮比重、簡易評価

1 はじめに

茨城県におけるレンコン (*Nelumbo nucifera*) の作付面積は、2020 年度は 1,690ha であり全国で最も多い（農林水産省関東農政局、2020）。県内の主要産地は霞ヶ浦・北浦に隣接しており、レンコン栽培田（以下、レンコン田）から流出する肥料成分が、これらの湖沼の水質に影響を及ぼすことが懸念される。

本県におけるレンコン田は、多くが通年で湛水状態に保たれており、レンコン跡地の土壌中の無機態窒素はすべてがアンモニア態である（折本・武井、2007）。湖沼への窒素負荷軽減には、レンコン田の土壌中アンモニア態窒素を評価し、レンコンの生育に不足している窒素分のみを施肥することが重要である。

レンコンの適正施肥を実施するためには、普及現場で土壌のアンモニア態窒素を評価する必要がある。アンモニア態窒素の測定は、一般的に蒸留法（土壌環境分析法編集委員会編、1997）やインドフェノールブルー法（中谷、1981）などが用いられるが、高価な機器や試薬が必要であり測定には時間を要する。そのため、普及センター等の現地指導機関では、簡易な測定方法が求められる。

また、圃場の面積あたりのアンモニア態窒素量を評価するには、単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度に仮比重を乗じる必要がある（茨城県農業総合センター、2015）。そのため各圃場の仮比重を測定する必要があるが、簡易な方法が確立していない。

そこで、レンコン田土壌の単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度および仮比重を簡易に評価する手法を検討したので、その結果を報告する。

2 材料および方法

2. 1 アンモニア態窒素の簡易測定法に適する発色試薬の検討

試験は、2018 年に行った。県内のレンコン田土壌を 54 地点（小美玉市 6 地点、行方市 5 地点、土浦市 29 地点、かすみがうら市 8 地点、稲敷市 6 地点）から採取した。採取した土壌は、湿潤状態で 2mm 目合いの篩を

1) 現 茨城県農林水産部産地振興課

2) 現 茨城県農業総合センター生物工学研究所

通過させて粗大有機物を取り除き、35℃に設定した送風定温恒温機内で72時間以上風乾処理を行い、乳鉢で粉碎したものを風乾土として供試した。風乾土10gに対して10%塩化カリウムを100mL加え、1時間振とうした後、No.5C濾紙で濾過した。濾液を蒸留水により5倍希釈したものを抽出液として供試した。

アンモニア態窒素の簡易測定法として、発色試薬をリフレクトクェントアンモニウムテスト (Merck Millipore 社、品番：16892-M、測定原理：インドフェノール青比色法) (以下、RQT)、パックテストアンモニウム (排水) (㈱共立理化学研究所、型式：WAK-NH₄ (C) -4、測定原理：インドフェノール青比色法) (以下、PT)、アクアチェック A (シーメンスヘルスケア・ダイアグノスティクス㈱、測定原理：アンモニア選択透過膜を用いた呈色反応) (以下、ACA) の3つを供試した。RQTは、抽出液5mLにNH₄-1試薬を10滴添加して攪拌し、NH₄-2試薬を付属のさじを用いて1さじ添加して完全に溶けるまで攪拌した。それを試験紙に反応させ、8分後にRQフレックスプラス10 (Merck Millipore 社、型番：1.17246.0001) を用いて測定した。PTは、抽出液をチューブの約半量吸わせ、チューブ内の試薬が完全に溶けるまで振り混ぜた。発色の10分後に、標準色列と目視により比色して、濃度を判定した。ACAは、試験紙を抽出液に浸して30秒間振って反応させて抽出液から取り出し、試験紙を30秒間水平に保った後、標準色列と目視により比色して、濃度を判定した。

簡易測定法と比較のためのアンモニア態窒素の測定は、10%塩化カリウム溶液で無機態窒素を抽出し、インドフェノールブルー法を採用した気泡分節型連続流れ分析装置 (ビーエルテック㈱、SwAA1) (以下、CFA) により行った。

各簡易測定法の精度について検討するため、簡易測定法とCFAで測定したアンモニア態窒素濃度をもとに、相関図 (Excel 2016、Microsoft 社) を作成してその一次近似式と決定係数を求めた。

2. 2 パックテストアンモニウム (アンモニウム態窒素) における発色時間の検討

試験は、2019年に行った。県内のレンコン田土壌を57地点 (小美玉市9地点、笠間市1地点、行方市12地点、土浦市21地点、かすみがうら市8地点、稲敷市6地点) から採取した。採取した土壌は、湿潤状態で2mm目合いの篩を通過させて粗大有機物を取り除き、35℃に設定した送風定温恒温機内で72時間以上風乾処理を行い、乳鉢で粉碎したものを風乾土として供試した。

アンモニア態窒素の簡易測定法は、風乾土10gに対して10%塩化カリウムを40mL加え、30分振とうした後、60分間静置した。静置した抽出液の上澄みを蒸留水で25倍に希釈し、パックテストアンモニウム (アンモニア態窒素) (㈱共立理化学研究所、型式：KR-NH₄-4、測定原理：インドフェノール青比色法) (以下、パックテスト) に1.5ml吸わせて発色させた。発色から10分後、20分後、30分後、1時間後にデジタルパックテストアンモニウム/アンモニウム態窒素 (㈱共立理化学研究所、型式：DPM2-NH₄) (以下、デジタルパックテスト) を用いて発色程度を測定した。なお、2. 1では共存物質による影響を抑制するため、パックテストアンモニウム (排水) を用いたが、レンコン田土壌から抽出したアンモニア態窒素を測定した結果、共存物質による影響は見られなかったため (データ省略)、本試験においては、パックテストを用いた。パックテストは、簡易吸光光度計 (デジタルパックテスト) に対応しており、吸光光度法により正確な値を求めることができる。

簡易測定法と比較のためのアンモニア態窒素の測定は、CFAにより行った。

パックテストの精度について検討するため、CFAで測定したアンモニア態窒素濃度をもとに、相関図 (Excel 2016) を作成して一次近似式および決定係数を求めた。

2. 3 仮比重簡易法の検討

試験は、2019年に行った。県内のレンコン田土壌を57地点 (小美玉市9地点、笠間市1地点、行方市12地点、土浦市21地点、かすみがうら市8地点、稲敷市6地点) から採取して供試した。土壌採取は、収穫から1か月以上経過し、土壌の懸濁が落ち着いている時期に行った。

仮比重簡易法は、採取した土壌を湿潤状態で2mm目合いの篩を通過させて粗大有機物を取り除き、35℃に設定した送風定温恒温機内で72時間以上風乾処理を行い、乳鉢で粉碎したものを供試した。仮比重の簡易測定 (茨城県農業総合センター、2017) を参考とし、以下の方法で土壌の容積を求めた。すなわち、1mL単位で容量目盛りのある50mL遠沈管に風乾土を10g量りとり、10%塩化カリウムを40mL加えて30分間振とうし

た。振とう機から取り出した遠沈管を 10 回程度手で振り、チューブラックに立てて 30 分間、1 時間、2 時間静置した後に、土壌と抽出液の境界線を遠沈管の目盛りから測定し、それを土壌の容積とした。

また仮比重は、土壌物理実験法（宮崎・西村、2011）に基づき、コアサンプル法で測定した。

仮比重簡易法による仮比重推定の精度を検討するため、仮比重簡易法による土壌の容積と、コアサンプル法による仮比重をもとに、相関図（Excel 2016）を作成して一次近似式および決定係数を求めた。

2. 4 圃場の面積あたりアンモニア態窒素量の簡易評価法の実用性

試験は 2019 年に行った。県内のレンコン田土壌を 50 地点（小美玉市 6 地点、笠間市 1 地点、行方市 10 地点、土浦市 20 地点、かすみがうら市 7 地点、稲敷市 6 地点）から採取して供試した。

土壌は、採取した土壌を湿潤状態で 2mm 目合いの篩を通過させて粗大有機物を取り除き、35°C に設定した送風恒温恒湿機内で 72 時間以上風乾処理を行い、乳鉢で粉碎したものを風乾土として供試した。

仮比重の簡易推定は、1mL 単位で容量目盛りのある 50mL 遠沈管に風乾土を 10g 量りとり、10%塩化カリウムを 40mL 加えて 30 分間振とうした。振とう機から取り出した遠沈管を 10 回程度手で振り、チューブラックに立てて 1 時間静置した後に、土壌と抽出液の境界線を遠沈管の目盛りから測定し、土壌の容積を求めた。

単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度の簡易推定は、仮比重の簡易推定の過程の抽出液を 1mL 採取して蒸留水で 25 倍に希釈し、1.5mL をデジタルバックテスト用の分析用セルに量りとった。分析用セル内の希釈液をバックテストチューブに全量吸わせ、良く振り混ぜて発色させた後、チューブ内部の液を分析用セルに戻した。発色から 1 時間後にデジタルバックテストで測定し、希釈倍率を乗じて単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度推定値を求めた。

作土深について、遠藤ら（1981）により、レンコンの頂芽及び節の重量割合は 25~30cm が最も大きいと報告がある。これより、レンコンは主に作土 30cm までで生育していると考え、本試験ではレンコン田の作土深は 30cm とした。

面積あたりアンモニア態窒素量 (kg/10a) は、仮比重 (g/cm³)、単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度 (mg/100g)、作土深 (m) および 10 をそれぞれ乗じて算出した。

また簡易評価法との比較のため、仮比重をコアサンプル法により求め、単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度を CFA により求めた（以下、コア・CFA 法）。

簡易評価法による面積あたりアンモニア態窒素推定量の精度を検討するため、簡易評価法による面積あたりアンモニア態窒素推定量と、コア・CFA 法による面積あたりアンモニア態窒素量をもとに、一次近似式（Excel 2016）を作成して近似式および決定係数を求めた。

3 結果および考察

3. 1 アンモニア態窒素の簡易測定に適する発色試薬の検討

アンモニア態窒素の測定値について、CFA と各簡易測定法との比較を図 1 に示す。CFA の測定値との関係を一時式で近似した結果、RQT では、近似式の傾きが 1.0401 で決定係数は 0.8797、PT ではそれぞれ 1.4776、0.9563、ACA では 1.3066、0.4848 であった。したがって、CFA と一次式の決定係数は PT が最も高く、精度よく CFA によるアンモニア態窒素を推定できると考えられる。

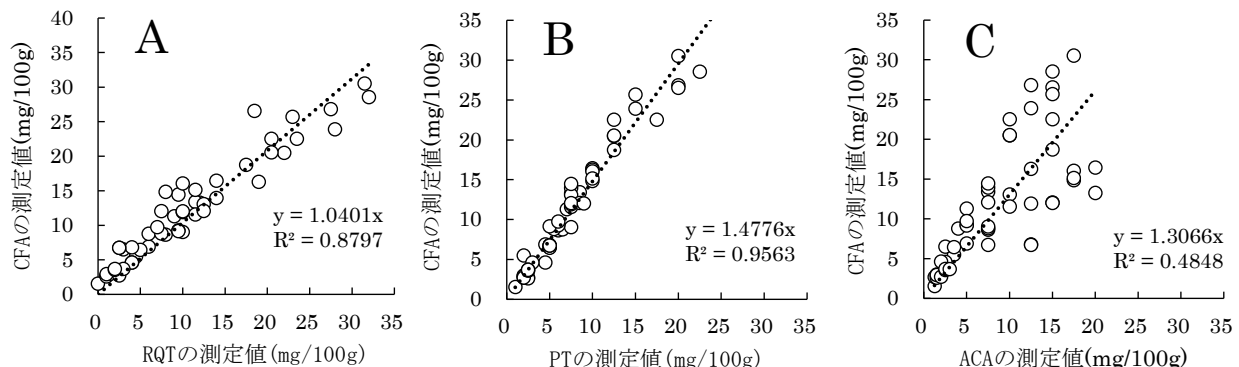


図 1 簡易測定法（RQT (A)、PT (B)、ACA (C)）の測定値と CFA の測定値の関係

3. 2 パックテストにおける発色時間の検討

アンモニア態窒素の測定値について、CFA と既定時間発色させたパックテストとの比較を図2に示す。CFAの測定値との関係を一次式で近似した結果、10分間発色では近似式の傾きが1.1733で決定係数は0.9403、20分間発色ではそれぞれ1.1227、0.9421、30分間発色では1.0906、0.9427、1時間発色では1.0457、0.9408であった。以上より、パックテストの測定値はいずれの反応時間においても、CFAの測定値と高い正の相関があった。また、一次近似式は、発色時間が長いほど傾きは1に近づいた。市川ら(2002)は、インドフェノール青法によるアンモニア態窒素測定において、2M塩化カリウムを抽出液として用いた時、発色時間が1.5時間以降ではアンモニア態窒素測定値は定常であることを明らかにしている。デジタルパックテストで測定できるアンモニア態窒素の範囲は、0.2mg/Lから3.0mg/Lであるが、市川ら(2002)の報告によると、アンモニア態窒素が2mg/Lのとき、発色1時間までは時間に比例して吸光度が上昇しているが、1時間以降はほぼ定常状態となっている。

以上より、1時間発色させたパックテストの測定値を用いることで、精度よくCFAによるアンモニア態窒素を推定できると考えられる。

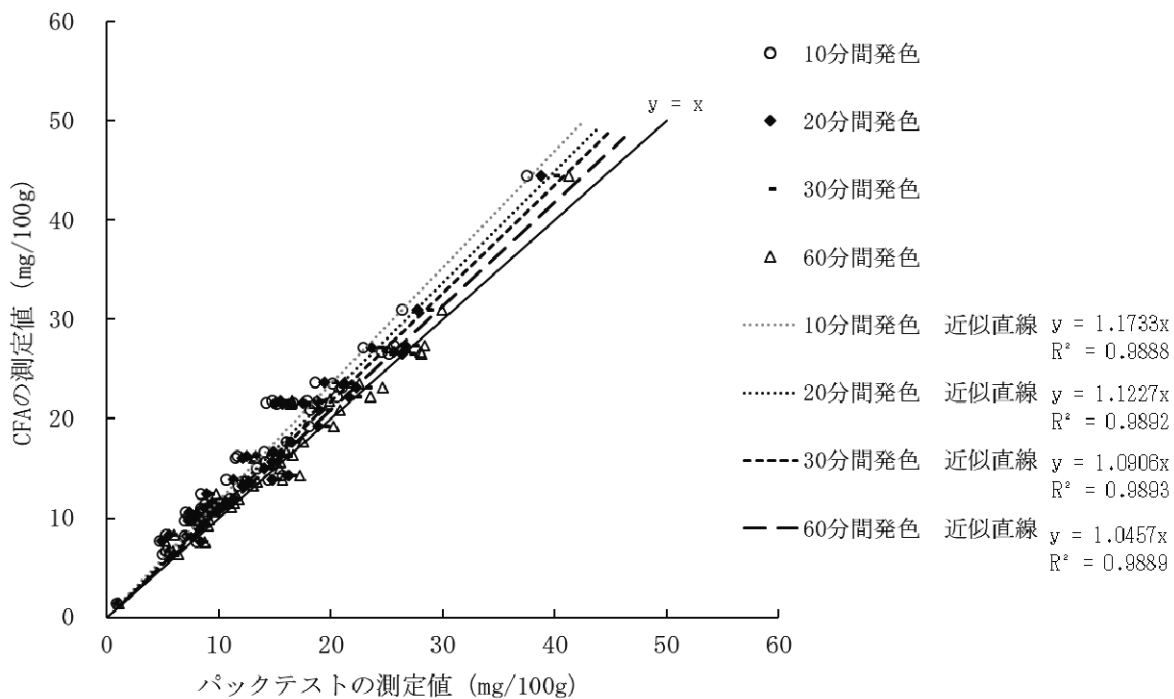


図2 発色時間の違いによるパックテストの測定値とCFAの測定値の関係

3. 3 仮比重簡易法の検討

仮比重について、一定時間静置した土壌の容積との関係を図3に示す。仮比重との関係を一次式で近似して結果、30分間静置後は、近似式の傾きが-0.0645で決定係数は0.7213、1時間静置後ではそれぞれ-0.0639、0.7574、2時間静置後では-0.0648、0.7327であった。以上より土壌の容積は、いずれの静置時間においても仮比重と負の相関があった。また近似式の決定係数は、1時間静置後の土壌の容積と仮比重との間が最も高かった。

したがって、1時間静置した土壌の容積を測定し、土壌の容積に-0.0639を乗じてその値に1.3823を加算することで、仮比重を推定できると考えられる。

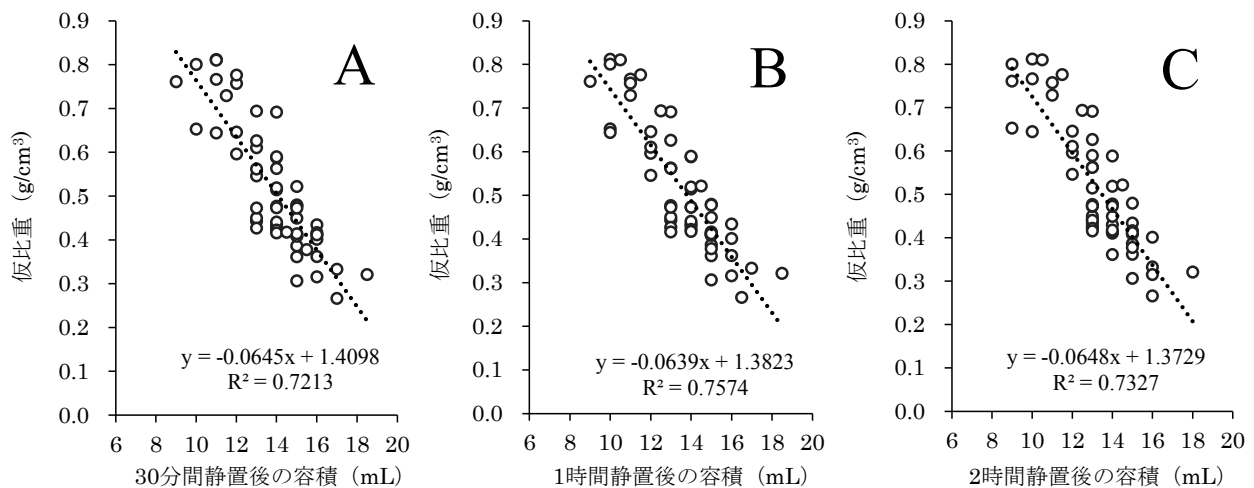


図3 一定時間（30分（A）、1時間（B）、2時間（C））静置後の土壌の容積と仮比重の関係

3. 4 圃場の面積あたりアンモニア態窒素量の簡易評価法の実用性

面積あたりアンモニア態窒素量について、コア・CFA法による面積あたりアンモニア態窒素量と簡易評価法による面積あたりアンモニア態窒素推定量との比較を図4に示す。なお仮比重簡易法は、3.3より、最も精度の高かった図3Bの近似式に当てはめて算出した。簡易評価法による面積あたりアンモニア態窒素量は、コア・CFA法との関係を一次式で近似した結果、近似式の傾きは1.0386で決定係数は0.855であった（図4）。このことから、簡易評価法を用いることにより、精度よく面積あたりアンモニア態窒素量を推定することができると考えられる。

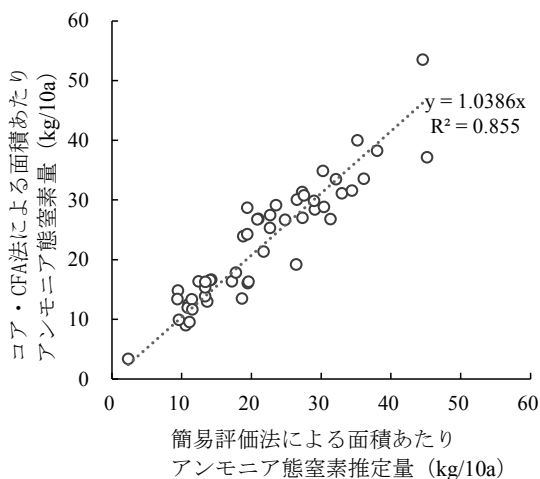


図4 簡易評価法とコア・CFA法による面積あたりアンモニア態窒素量の関係

上記より、レンコン田土壌中の面積あたりアンモニア態窒素量の簡易評価法を作成した（図5）。本簡易評価法を用いることで、一連の作業で仮比重および単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度を推定することができる。本法に用いるパックテストは、1検体分が約100円と安価である。またデジタルパックテストの測定や土壌の容積測定は容易な操作である。筆者らは、窒素施肥量を低減することを目的として、施肥前土壌中のアンモニア態窒素を測定し、その窒素量を窒素施肥基準量からさし引いて窒素施肥量を決める窒素診断施肥技術を開発している。本法を用いることで、普及現場で簡易に圃場の面積あたりアンモニア態窒素の評価が可能となり、窒素診断施肥に活用することができる。

手順	
1	採取した土壌から粗大有機物を取り除いて風乾し、乳鉢等で粉碎する
2	1mL単位が目盛り付き50mL遠沈管に風乾土を10g入れる
3	10%塩化カリウムを40mL加える
4	30分間振とうする
5	手で10回程度強く振とうした後、60分間静置する
6	土壌と抽出液の境界線を目盛りを記録する（土壌の容積（mL）） ①仮比重推定値（g/cm ³ ）＝土壌の容積（mL）×（-0.0639）＋1.3823
7	抽出液を1mL採取し、蒸留水で25倍に希釈する
8	デジタルパックテスト用の分析用セルに希釈液を1.5mL採取する
9	分析用セル内の希釈液をパックテストで全量吸わせて振り混ぜ、分析用セルに戻す
10	希釈液を1時間発色させた後、デジタルパックテストで測定する（測定値（mg/L）） ②風乾土あたりのアンモニア態窒素濃度推定値（mg/100g）＝（測定値（mg/L））×12.5
11	以下の式により、面積あたりアンモニア態窒素量を推定する 面積あたりアンモニア態窒素量（kg/10a）＝①仮比重推定値（g/cm ³ ） ×②風乾土あたりのアンモニア態窒素濃度推定値（mg/100g） ×作土深（m）×10

図5 レンコン田土壌中の面積あたりのアンモニア態窒素量の簡易評価法

引用文献

- 土壌環境分析法編集委員会編（1997）土壌環境分析法．博友社、東京、p.392-393.
- 遠藤俊三・芝野保徳・笹尾 彰（1981）噴流式レンコン掘取機の開発研究（第3報）．農業機械学会誌 43（3）：391-399.
- 茨城県農業総合センター（2015）土壌・作物栄養診断マニュアル．土壌の診断基準．10a 当たりの土壌重量（土壌の乾燥重量）：63.
- 茨城県農業総合センター（2017）茨城県普通作物栽培基準（含む、工芸作物）．参考資料．仮比重の簡易測定：158.
- 市川貴大・高橋輝昌・浅野義人・小林達明（2002）インドフェノール青法によるアンモニア態窒素の簡易定量法の検討．日本緑化工学会誌 27（4）：623-626.
- 宮崎 毅・西村 拓編（2011）土壌物理実験法．東京大学出版会、東京、pp.20-25.
- 中谷省三（1981）アンモニア態窒素（NH₄⁺-N）．日本分析化学会北海道支部編 水の分析-第3版-、化学同人、京都、pp.210-214.
- 農林水産省関東農政局（2020）URL：<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/index.html>（2022年8月25日アクセス）.
- 折本善之・武井昌秀（2007）レンコン栽培における被覆肥料を用いた窒素減肥および節水管理が収量および窒素排出量に及ぼす影響．日本土壌肥料科学雑誌 78（4）：363-369.

Simple Measurement method of the amount of Ammonium Nitrogen in the Plow Layer at Lotus Field

Keiji KASHIMA¹, Tetsuro KARIYA, Iwao TERAKADO, Takeru GONAI and Yutaka FUJITA

Summary

A majority of the fields which are grown lotus (*Nelumbo nucifera*) roots in Ibaraki Prefecture are flooded throughout the year, and most of the inorganic nitrogen in the soil exists in the form of ammonium nitrogen.

It is thought that the ammonium nitrogen in the fields can be used to calculate the appropriate amount of fertilizer application as an index that indicates the amount of fertility nitrogen in the soil. Generally, the distillation method and the indophenol method are used to quantify ammonium nitrogen, but requires expensive instruments. Therefore, the current study investigated a simple evaluation method which can be calculated at the agricultural extension center.

As a result, a positive correlation was suggested between measurement results of ammonium nitrogen by PACK TEST TUBE (commercial water analysis kit) and by indophenol method. In addition, The PACK TEST TUBE was needed to react for an hour. Bulk density in the field could be estimated from the volume of ten g air-dried soil, added 40 mL of 10% KCl, shaken, and leaved for an hour multiply -0.0639 and plus 1.3823 . The amount of ammonium nitrogen per area calculated from the estimated bulk density and ammonium nitrogen concentration per unit weight by this simple evaluation method correlated with the amount of ammonium nitrogen per area calculated from the bulk density by the core method and ammonium nitrogen concentration per unit weight by the indophenol method.

Keywords: lotus roots, soil analysis, ammonium nitrogen, bulk density, simple measurement

¹ Address: Ibaraki Agricultural Center Horticultural Research Institute, 3165-1 Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, Japan